

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до виконання розрахунково-графічної  
(контрольної) роботи

з навчальної дисципліни

**«МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»**

*(для магістрів заочної форми навчання  
спеціальності 275 – Транспортні технології)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О.М. Бекетова**  
**2019**

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної (контрольної) роботи з навчальної дисципліни «Моделювання транспортних систем» (для магістрів заочної форми навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Ю. О. Давідіч, Г. І. Фалецька. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 34 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. Ю. О. Давідіч,  
канд. техн. наук, доц. Г. І. Фалецька

#### Рецензент

Д. П. Понкратов, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

*Рекомендовано кафедрою транспортних систем і логістики,  
протокол № 2 від 31.08. 2017.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1	
ВИЗНАЧЕННЯ МАТРИЦІ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ У ПЕРІОД ПРОВЕДЕННЯ СВЯТКОВИХ ЗАХОДІВ У МІСТАХ .....	5
РОЗДІЛ 2	
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ МІСТ .....	9
РОЗДІЛ 3	
ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	30
ДОДАТКИ .....	32

## **ВСТУП**

Дисципліна «Моделювання транспортних систем» вивчає основні принципи моделювання транспортних систем, прийняття рішень в управлінні процесами автомобільного транспорту на основі моделювання процесів у транспортних системах.

Методичні рекомендації спрямовані на отримання студентами необхідних навичок та знань у сфері формального складу транспортних систем; параметрів зовнішнього середовища систем у пасажирському та вантажному транспорті; процедур із розроблення моделей маршрутних мереж міст; особливості застосування сучасного програмного забезпечення у сфері моделювання транспортних систем; здобуття навичок і компетентності для виконання формалізації систем у пасажирському та вантажному транспорті; розроблення математичних моделей транспортних процесів; визначення цільових функцій для надання результативних оцінок вантажного та пасажирського функціонування системи транспорту; розроблення та проведення експериментів у сфері транспортних процесів; моделювання транспортних процесів за допомогою сучасного програмного забезпечення.

## РОЗДІЛ 1

### ВИЗНАЧЕННЯ МАТРИЦІ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ У ПЕРІОД ПРОВЕДЕННЯ СВЯТКОВИХ ЗАХОДІВ У МІСТАХ

#### Мета заняття

Визначення матриці пасажирських кореспонденцій в період проведення святкових заходів у містах.

#### Вихідні дані

Таблиця 1.1 – Обсяги відправлень і прибуття у транспортних районах

Номер транспортного району	1	2	3	4	5	6
КОі, чол.	10 500	6 800	9 900	7 300	4 000	9 600
КРj, чол.	8 500	8 000	9 400	5 600	8 500	8 600
Примітка. Варіант обирається за останньою цифрою студентського квитка						

Таблиця 1.2 – Обсяги по прибуттю учасників святкових заходів

Номер району	1	3	4
$KP_j$ , чол.	$2\,600 \cdot (i+j)$	$3\,700 \cdot (i+j)$	$4\,000 \cdot (i+j)$
Примітка. Варіант обирається за передостанньою цифрою студентського квитка			

Таблиця 1.3 – Кількість автомобілів, що зареєстровані в транспортних районах

Номер району	1	2	3	4	5	6
Равт, од.	2 600	3 300	2 900	2 400	3 000	3 800
Примітка. Варіант обирається за сумою двох останніх цифр студентського квитка						

### Етапи виконання

1. Скласти матрицю пересування пасажирським транспортом загального користування.
2. Скласти матрицю пересування пасажирів індивідуальним транспортом.
3. Скласти матрицю пересування учасників святкових заходів серед мешканців міста.
4. Визначити матрицю пасажирських кореспонденцій у період проведення святкових заходів.
5. Навести висновки за роботою.

### Хід виконання

1. Складання матриці пересування пасажирським транспортом загального користування.

Для кожного району розрахувати ймовірності відправлення ( $r_i^k$ ) і прибуття ( $r_j^k$ ) за районами:

$$r_i^k = \frac{KO_i^k}{S_i^k}; \quad (1.1)$$

$$r_j^k = \frac{KP_j^k}{S_i^k}, \quad (1.2)$$

де  $KO_i^k$  – обсяг щодо відправлення з  $i$ -го району на  $k$ -му виді транспорту, осіб;

$KP_j^k$  – обсяг щодо прибуття в  $j$ -й район на  $k$ -му виді транспорту, осіб;

$S_i^k$  – загальний обсяг перевезень на  $k$ -му виді транспорту, осіб.

Результати розрахунків округлити до 0,001.

Значення кореспонденцій між пунктами  $i$ - $j$  визначають:

$$k_{ij}^k = S_i^k \cdot r_i^k \cdot r_j^k, \quad (1.3)$$

де  $r_i^k$  – ймовірність відправлення з  $i$ -го району на  $k$ -му транспорті;

$r_j^k$  – ймовірність прибуття в  $j$ -й район на  $k$ -му транспорті.

Значення розрахунків округлити до цілого числа.

У таблиці 1.4. наведений приклад матриці кореспонденцій на транспорті загального користування.

Таблиця 1.4 – Матриця кореспонденцій

	$KP_i$	$KP_1$	$KP_2$		$KP_6$
$KO_i$	трансп. район	1	2	...	6
$KO_1$	1	$k_{1\ 1}$	$k_{1\ 2}$	...	$k_{1\ 6}$
$KO_2$	2	$k_{2\ 1}$	$k_{2\ 2}$	...	$k_{2\ 6}$
...	...	...	...	...	...
$KO_6$	6	$k_{6\ 1}$	$k_{6\ 2}$	...	$k_{6\ 6}$

2. Складання матриці пересування пасажирів індивідуальним транспортом. Основою для складання матриці є дані кількості зареєстрованих автомобілів (табл. 1.3) за транспортними районами міста.

Обсяги відправлення індивідуальним транспортом визначають у такий спосіб:

$$KO_i^{IT} = P_{авт} \cdot \overline{f}_{cp} \cdot k_{знт}, \quad (1.4)$$

де  $KO_i^{IT}$  – ємність відправлення транспортом індивідуального користування з  $i$ -го району, осіб;

$P_{авт}$  – зареєстрована кількість автомобілів у транспортному районі, авт.;

$\overline{f}_{cp}$  – середня наповненість одного автомобіля,  $\overline{f}_{cp} = 2$  особи;

$k_{знт}$  – коефіцієнт зайнятості, прийняти  $k_{знт} = 0,4$ .

Припустимо, що є прямий взаємозв'язок між прибуттям у транспортний район на транспорті загального користування та на індивідуальному транспорті.

Обсяги щодо прибуття індивідуальним транспортом розрахувати за такою

формулою:

$$KO_j^{\text{IT}} = KP_{\text{МПТ}j} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n KO_i^{\text{IT}}}{\sum_{j=1}^n KP_{\text{МПТ}j}}, \quad (1.5)$$

де  $KO_j^{\text{IT}}$  – обсяг щодо прибуття в  $j$ -й транспортний район індивідуальним транспортом, осіб;

$KP_{\text{МПТ}j}$  – обсяг щодо прибуття в  $j$ -й транспортний район у загальному транспорті, осіб;

$n$  – кількість транспортних районів, од.

$n$  – кількість транспортних районів, од.

Для цієї матриці визначити дані за формулами (1.1) – (1.2) і скласти матрицю кореспонденцій за формулою (1.3).

3. Складання матриці пересування учасників святкових заходів серед мешканців міста.

Святкові заходи за завданням будемо спостерігати у районах № 1, 3, 4. Припустимо, що обсяги відправлення мешканців із районів міста, які братимуть участь у святкових заходах, залежать від кількості мешканців транспортних районів і частки їхньої зайнятості у святкових заходах.

Розраховуємо обсяги відправлення учасників святкових заходів:

$$KO_i^{\text{VЧ}} = KO_i \cdot \frac{\sum_{j=1}^n KP_j^{\text{VЧ}}}{S_{\text{МПТ}}}, \quad (1.6)$$

де  $KP_j^{\text{VЧ}}$  – ємність щодо прибуття мешканців транспортних районів, осіб.

Для цієї матриці провести розрахунки за (1.1) – (1.2) і скласти матрицю з (1.3).

4. Визначення матриці пасажирських кореспонденцій у період проведення святкових заходів.



Матриця складається з матриці кореспонденцій на транспорті загального користування, матриці кореспонденцій на індивідуальному транспорті, матриці пересувань пасажирів до місць проведення святкових заходів:

$$МПП_{ГМЗ} = G_1 + G_2 + G_3, \quad (1.7)$$

де  $G_1$  – матриця пересування пасажирів на загальному транспорті;

$G_2$  – матриця пересування пасажирів на індивідуальному транспорті;

$G_3$  – матриця пересувань пасажирів до місць проведення святкових заходів.

### **Запитання до перевірки знань**

1. Що таке матриця пасажирських кореспонденцій?
2. Послідовність розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій?
3. Чим характерні масові святкові заходи?
4. Чим характерна організація перевезень під час проведення святкових заходів?

## РОЗДІЛ 2

### ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ МІСТ

#### Мета роботи

Закріпити теоретичні знання щодо організації, планування і проведення експерименту.

#### Вихідні дані

Таблиця 2.1 – Параметри міста

Назва параметра	Значення параметра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Загальна площа міста, км <sup>2</sup>	72	54	68	64	63	57	69	74	73	59
2. Питоме значення селітебної площі в площі міста	0,6	0,76	0,55	0,59	0,73	0,79	0,8	0,86	0,78	0,93
3. Довжина дуги графа транспортної мережі, м	870	770	730	780	630	680	720	700	690	750
Примітка. Варіант обирається за передостанньою цифрою студентського квитка										

Таблиця 2.2 – Параметри маршрутної мережі

Назва параметра	Значення параметра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Середня довжина поїздки електротранспортом, км	7,19	8,38	7,95	8,48	6,26	7,83	7,48	7,76	7,61	7,25
2. Середня довжина поїздки міським автобусом, км	7,89	8,93	8,4	8,87	8,32	9,13	9,58	9,36	9,22	7,12
3. Значення швидкості сполучення на маршрутах електротранспорту, км/год	15	25	18	26	17	19	20	22	23	19

Продовження таблиці 2.2

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4. Значення швидкостного параметра на маршрутах автобусів, км/год	маршрут № 1	33,1	36	37,3	36,7	37	33,9	34,8	37,6	39,9	37,5
	маршрут № 2	35,9	37	38,4	39,7	37	35,9	34,7	39,7	34,9	38,4
	маршрут № 3	32,2	35	36,7	37,5	35	33,2	32,9	37,5	38,6	36,7
	маршрут № 4	21,3	37	38,3	36,7	37	26,3	23,9	35,3	36,9	34,6
	маршрут № 5	33,4	34,8	35,7	36,8	34,6	33,6	32,3	36,8	37,9	35,7
5. Значення обсягу перевезення маршрутами електро-транспорту за добу, тис. пас.	маршрут № 1	24	26,6	27,8	22	27	28,1	12,8	22,4	21	25,6
	маршрут № 2	23,7	25	26,2	22,5	26,7	28,3	12,4	12,9	11,8	24
	маршрут № 3	23	25	26	13	25,8	27	12	15,5	16,7	24,3
6. Значення обсягу перевезення автобусними маршрутами за добу, пас.	маршрут № 1	33	37,4	39,5	31,2	38,4	31,9	28,3	29,8	27,9	36,7
	маршрут № 2	47	41,4	45,1	36,5	43	47,9	31,4	33,8	24	38,1
	маршрут № 3	36	30,8	21,2	33	41,3	34,8	31,6	34,5	39,4	41,7
	маршрут № 4	39	44,6	47,3	36,5	45,9	49	33,8	34,2	31,9	42,3
	маршрут № 5	34	38,6	31,8	31,9	39,7	42	29,7	30,9	28,7	36,8
7. Інтервал руху на електротранспорті, хв.		32	36	38	34	37	40	28	29	27	34

Закінчення таблиці 2.2

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8. Інтервал руху автобусних маршрутів, хв.		11	22	23	10	12	23	13	9	24	15
9. Маршрутні траси електротранспорту	маршрут № 1	1-4-7-11-16-23-28-32-33-31-27					1-5-8-13-18-19-28-32-33-31-30				
	маршрут № 2	4-3-10-14-21-25-30-31-33-32-28-27					3-4-1-6-9-5-8-7-11-16-23-19-20				
	маршрут № 3	31-32-28-23-16-17-13-9-20-32-33-31					25-31-27-22-16-23-19-18-13-9-6-1				
10. Маршрутні траси автобусів	маршрут № 1	3-4-7-11-15-22-27-28-19-17-16-11-7-4					7-15-26-27-28-19-20-29-33-32-31-25-30				
	маршрут № 2	3-10-14-24-30-25-26-22-15-11-16-23-28-32					4-15-8-12-17-16-23-28-14-10-3-4-1				
	маршрут № 3	25-21-10-3-4-1-5-9-20-29-32-33-31-30					31-25-26-22-16-17-13-18-19-20-9				
	маршрут № 4	5-1-6-9-13-18-19-23-28-32-33-31-27-22					33-32-28-23-19-17-16-11-7-4-2-3-10				
	маршрут № 5	5-1-4-7-11-16-17-12-8-13-9-20-29-32-33-31					7-11-16-17-19-28-27-26-15-10-21-25-30-31-32-29				
Примітка. Варіант обирається за останньою цифрою студентського квитка.											

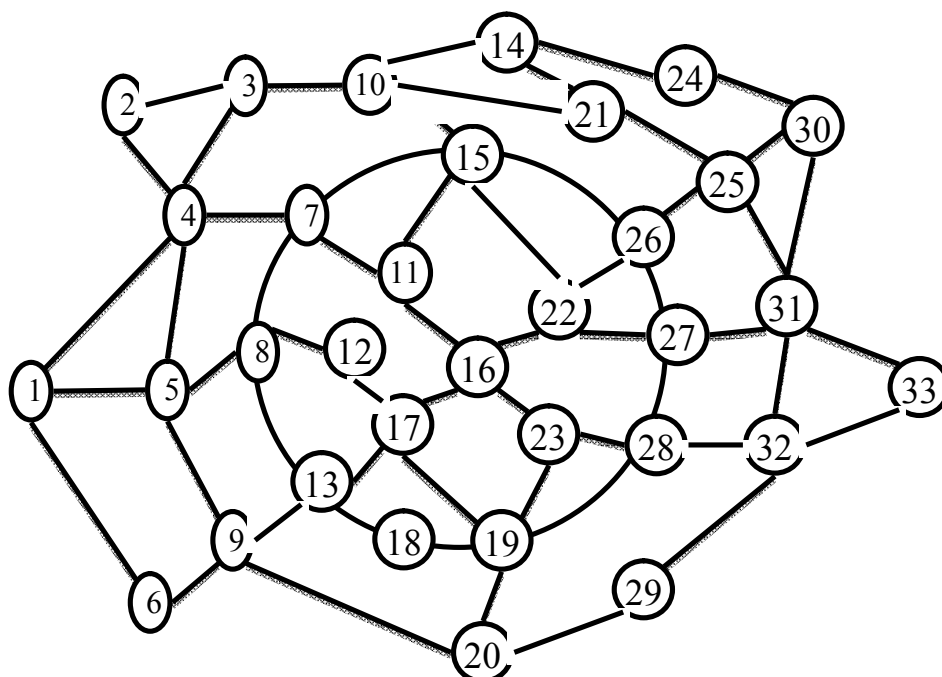


Рисунок 2.1 – Граф транспортної мережі міста

### Етапи виконання

1. Оцінити рівні розвиненості маршрутної системи.
2. Розрахувати щільності маршрутної системи.
3. Визначити середній час пересування на маршруті.
4. Надати характеристику стану дублюючих маршрутів електротранспорту та автобусних маршрутів.
5. Підвести підсумки по роботі.

### Хід виконання

1. Маршрутний коефіцієнт один із основних показників, який визначає ступінь розвиненості маршрутної мережі міста. Розраховується за наведеною формулою:

$$l_{\text{м}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_{\text{мі}}}{N_{\text{тм}}}, \quad (2.1)$$

де  $n_{\text{мі}}$  – протяжність  $i$ -го маршруту, км;

$N_{\text{тм}}$  – загальна довжина транспортної мережі міста, км;

$m$  – загальна кількість маршрутів існуючих видів міського пасажирського транспорту, од.

2. Щільність маршрутної мережі міста (далі – ММ). Під час її розрахунку використовують селітебну площу міста:

$$\mu = \frac{N_{\text{мм}}}{G_{\text{сел}}}, \quad (2.2)$$

де  $N_{\text{мм}}$  – загальна протяжність маршрутної мережі, км;

$G_{\text{сел}}$  – значення селітебної площі міста, км<sup>2</sup>.

Селітебна площа міста є складовою загальної площі міста. Її можна розрахувати як:

$$G_{\text{сел}} = G_{\text{м}} \cdot L_{\text{сел}}, \quad (2.3)$$

де  $G_{\text{м}}$  – значення площі міста, км<sup>2</sup>;

$L_{\text{сел}}$  – питоме значення частки селітебної площі міста.

3. Середнє значення часу пересування є основним показником оцінки ефективності функціонування маршрутної мережі та транспортного обслуговування транспорту населення. Розраховується за формулою:

$$\bar{t}_{\text{пр}} = \bar{t}_{\text{п}} + \bar{t}_{\text{оч}} + \bar{t}_{\text{під}} + \bar{t}_{\text{від}}, \quad (2.4)$$

де  $\bar{t}_{\text{п}}$  – значення середнього часу поїздки по ММ (без урахування пересадок), год;

$\bar{t}_{\text{оч}}$  – значення середнього часу очікування пасажирів транспортних засобів (далі – ТЗ) на зупиночних пунктах, год;

$\bar{t}_{\text{підх}}$  – значення середнього часу підходу до зупиночного пункту, год;

$\bar{t}_{\text{відх}}$  – значення середнього часу відходу від зупиночного пункту, год.

3.1 Визначити середній час поїздки пасажирів на кожному з маршрутів окремо (тролейбусного та автобусного):

$$t_{\text{під}}^k = \frac{\bar{S}_k}{V_{\text{ср}}}, \quad (2.5)$$

де  $t_{\text{під}}^k$  – значення середнього часу поїздки для  $i$ -го маршруту на  $k$ -му виді транспорту, год;

$\bar{S}_k$  – значення середньої дальності маршруту на  $k$ -му виді пасажирського транспорту, км;

$V_{ci}$  – значення середньої швидкості для  $i$ -го маршруту пасажирського транспорту, км/год.

Значення середнього часу поїздки по ММ міста розраховується як середньозважене серед усіх міських маршрутів:

$$\bar{t}_n = \frac{\sum_{r=1}^2 \sum_{i=1}^m \bar{t}_{nir} \cdot S_{ir}}{\sum_{r=1}^2 \sum_{i=1}^m S_{ir}}, \quad (2.6)$$

де  $S_i$  – значення добового обсягу перевезення на  $i$ -му маршруті МПТ, пас.

3.2 Визначити середній час очікування пасажирів транспортним засобом на зупинці. Розраховується за такою формулою для кожного маршруту:

$$\bar{t}_{очr} = \frac{1}{2} \cdot J_{pr}, \quad (2.7)$$

де  $J_{pr}$  – значення інтервалу руху транспортних засобів на маршрутах для  $r$ -го виду транспорту, год.

Аналогічно з (2.6) визначаємо значення середнього часу очікування на зупинках маршрутної мережі міського пасажирського транспорту:

$$\bar{t}_{оч} = \frac{\sum_{r=1}^2 \sum_{i=1}^m \bar{t}_{очir} \cdot S_{ik}}{\sum_{r=1}^2 \sum_{i=1}^m S_{ik}}. \quad (2.8)$$

3.3 Визначити значення середнього часу підходу до пункту зупинки міського пасажирського транспорту за даними про щільність ММ міста:

$$\bar{t}_{\text{пдх}} = \frac{1}{3 \cdot \mu \cdot V_{\text{піш}}}, \quad (2.9)$$

де  $V_{\text{піш}}$  – значення швидкості підходу пасажирів до пункту зупинки, 4 км/год.

3.4 Визначити значення середнього часу відходу від пункту зупинки. Приймають рівним значенню середнього часу підходу до пункту зупинки, що визначено за формулою (2.9).

4. Ступінь дублювання маршрутних трас у міському електротранспорті та автобусних маршрутах можна оцінити, зіставивши кількість збігів по зупиночним пунктам. Пошук кількості збігів у загальному виді можна оцінити за формулою:

$$Z_{\text{зб}} = \frac{a}{m} \cdot 100, \quad (2.10)$$

де  $Z_{\text{зб}}$  – значення ступеню дублювання маршрутів на електротранспорті, %;

$a$  – значення кількості пунктів зупинки автобусних маршрутів, що входять до маршрутної траси електричного транспорту, од.;

$m$  – значення кількості пунктів зупинки маршруту електричного транспорту, од.

5. У висновку по роботі оцінити ступінь розвиненості та доступності маршрутної мережі щодо до нормативів малих та середніх міст, часу пересування маршрутною мережею та надати характеристику рівня дублюючих трас маршрутів автобусних та маршрутів електричного транспорту. У разі потреби, за результатами розрахунків, звернути увагу на заходи, які підвищують ефективність функціонування маршрутної мережі міста.



### **Запитання до перевірки знань**

1. Як визначається маршрутний коефіцієнт?
2. Як визначається середній час пересування?
3. Як оцінити ступінь дублювання трас автобусних маршрутів та маршрутів електричного транспорту?
4. Які заходи впроваджують для підвищення ефективності функціонування міської маршрутної мережі?

## РОЗДІЛ 3

### ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### Мета роботи

Закріпити теоретичні знання та набуті практичних навичок зі статичного оброблення підсумків натурного експерименту, визначити значущі фактори, інтерпретацію та аналіз регресійної моделі.

#### Етапи виконання

1. Сформувані вихідні дані експериментального дослідження у форматі програми Statistica-5.5.
2. Обчислити коефіцієнт регресійної моделі зміни функцій відгуку залежно від факторів. Установити ступінь значущості коефіцієнтів регресійних моделей.
3. Перевірити моделі на адекватність.
4. Графічно зобразити узгодженість прогнозованих значень функцій відгуку зі спостерігаючими, та залишки регресійних моделей.
5. Надати характеристичні графіки зміни функцій відгуку і зрізи поверхонь впливу факторів на функції відгуку.
6. Підвести підсумки з проведеної роботи.

#### Хід виконання

Обчислення регресійного аналізу призначені для оцінки регресійних моделей, тому можуть бути потрібні перетворення і значення функцій відгуку і, в окремих випадках, значення факторів. Реальні процеси і явища більш точно описує нелінійна функція:

$$x = a_0 \prod_{i=1}^n a_i^{y_i}, \quad (3.1)$$

та

$$x = a_0 \prod_{i=1}^n y_i^{a_i}, \quad (3.2)$$

де  $a_i$  – коефіцієнт моделі функції відгуку;

$n$  – кількість факторів, од;

$y_i$  – значення  $i$ -го фактора.

Для забезпечення більш логічної апроксимації конкретної функції відгуку, також можуть застосовуватись нелінійні функції будь-якого виду. Заміна змінних шляхом перетворення вихідних факторів або їхньою комбінацією забезпечить нелінійність функції. Для кожної функції відгуку потрібно привести альтернативні варіанти виду функції.

У разі, коли аналізу піддається функція виду (3.1), перетворюємо тільки функцію відгуку логарифмуванням, а саме, розраховуємо нове значення функції відгуку ( $x$ ) за формулою:

$$x' = \ln(x). \quad (3.3)$$

У разі, коли аналізу піддається функція виду (3.2), потрібно додатково перетворити значення факторів за формулою:

$$y_i' = \ln(y_i). \quad (3.4)$$

Варто пам'ятати, що відразу після вибору виду функції відгуку і визначення діапазонів варіювання факторів виконують необхідне перетворення значень факторів.

Додаткові змінні (функції відгуку та фактори) додаються в такому порядку: на робочому листі програми Statistica потрібно обрати пункт «Edit | Variables | Add...» головного меню. На моніторі буде відображена форма додавання змінних (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Додавання змінних в форматі програми Statistica-5.5

У полі «Number of variables to add» необхідно ввести кількість додаткових змін. У полі «Insert after variable» вводиться ім'я змінної, після якої додаються додаткові змінні. Натискається кнопка «OK», після чого в робочий лист програми Statistica будуть додані змінні у зазначений кількості.

Для занесення даних у додаткові змінні використовуються текстові редактори та табличні процесори з функцією перенесення значень на програмний лист завдяки методу «Copy – Paste» (копіювати – вставити). Але найбільш зручним для використання є функція розрахунку значень змінних, яка вбудована в програму Statistica.

Вводимо формулу розрахунку через інші змінні у формі властивості змінної в полі із заголовком «Long name (label, link, or formula with Functions)».

Для запису формул використовується такий синтаксис.

Усім записам передуює символ рівняння « = ». Далі йде формула. Щоб виконати арифметичні операції, використовують такі символи: « + » (скласти), « – » (відняти), « / » (поділити) і « \* » (помножити). Для зведення в ступінь вводиться символ «^». Для використання інших функцій натискають кнопку «Functions», що знаходиться одразу над полем вводу формули. Для посилання на інші змінні використовують такі способи: перший – форма «vX» (де v – обов'язковий символ, а X – номер змінної, на яку посилаються); другий – ім'я змінної використовують так, як воно записано в заголовку її стовпця. Для автоматичного заповнення стовпця нової змінної значеннями розрахованими по щойно введеній формулі потрібно натиснути кнопку «OK».

Обчислення коефіцієнтів регресійної моделі, визначення значущості кое-

фіцієнтів регресійних моделей, її адекватності робиться через меню аналізу даних та меню вибору виду аналізу.

У меню вибору виду аналізу потрібно натиснути пункт «Multiple Regression» («Множинна регресія»), натиснути кнопку «Switch To». Далі на екрані з'явиться вікно множинної регресії (рис. 3.2).

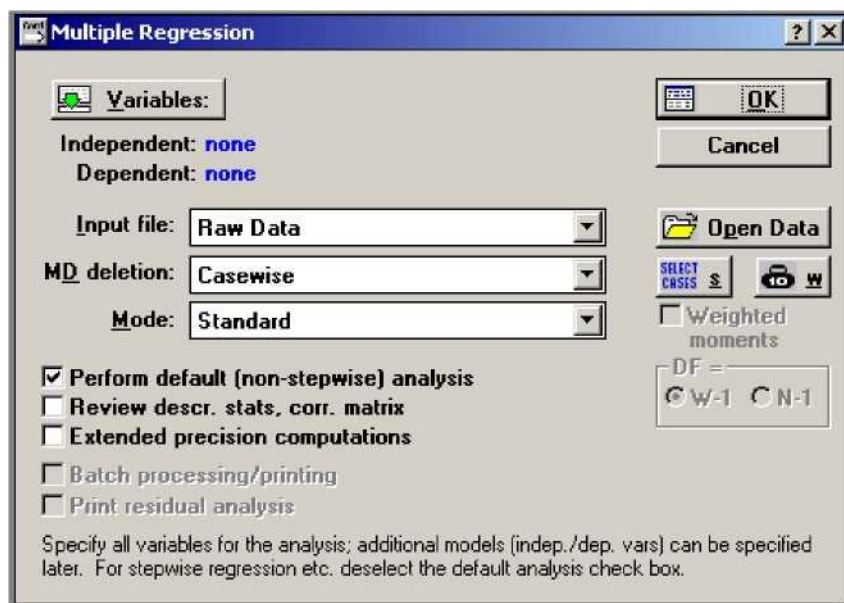


Рисунок 3.2 – Множинна регресія в Statistica

Потрібно визначити незалежні змінні (фактори) і залежні (функція відгуку). Для визначення залежної і незалежних змінних необхідно обрати «Variables:» («Змінні:»). Після цього на екрані з'явиться форма вибору змінних (рис. 3.3). В обох полях цього образу наводиться порядковий список номерів й імені всіх змінних, що розміщені на відкритому робочому листі програми Statistica. У лівому полі визначаємо залежну змінну (одну з функцій відгуку), для якої потрібно розрахувати коефіцієнти регресійної моделі. У правому полі необхідно визначити незалежні змінні (рекомендовано визначити усі фактори, які пов'язані із конкретною моделлю функції відгуку). Аналогічно помічаються декілька змінних у, як помічаються декілька файлів у списку Windows Explorer (Проводник Windows). Після цього у правому нижньому полі з'являються фор-

ми під заголовком «Independent variable list».

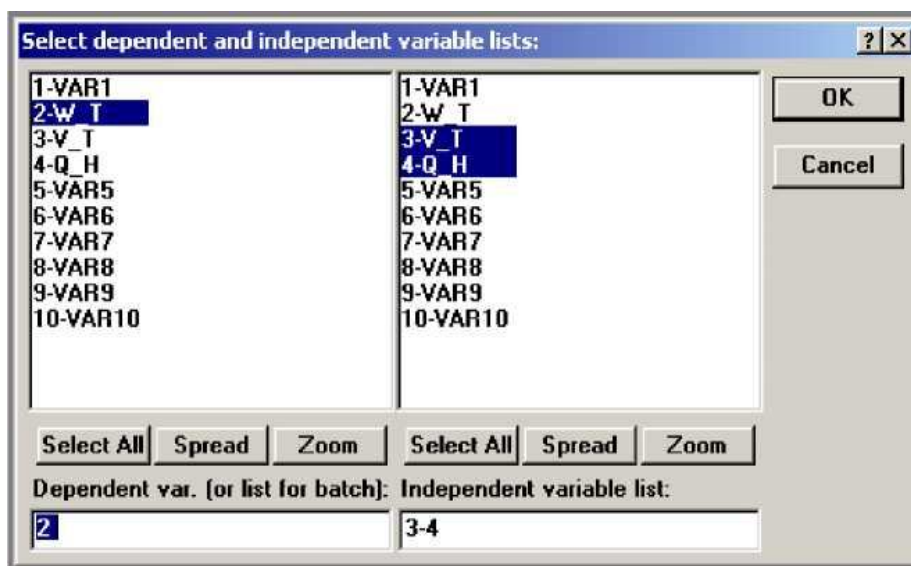


Рисунок 3.3 – Вибір залежної і незалежних змінних

Натискаємо кнопку «OK». З екрану зникне форма вибору залежної і незалежної змінних і залишиться образ множинної регресії (рис. 3.2), де під кнопкою «Variables:» у рядку «Independent:» та «Dependent» будуть з'являтися номери незалежних та залежних змінних.

Далі міняти форму множинної регресії не потрібно. Коли обрали кнопку «OK», з'являються результати множинної регресії (рис. 3.4).

У цій формі у верхній частині (у текстовій області) з'являються загальні результати регресійного аналізу. У частині над рискою з'являються після рядку «Multiple Regression Results» («Результати множинної регресії»), у полі «Dep. Var.:» – ім'я залежної змінної, у полі «Multiple R :» – чисельне значення коефіцієнту множинної кореляції як залежної змінної, так і незалежної змінної, у полі «F=» – числовий показник критерію Фішера; у полі « $R^2$ :» – числове значення квадрату коефіцієнту множинної кореляції; у полі «df =» – менша та більша кількість ступенів свободи для розрахунку рівня довірчої ймовірності; у полі «No. Of cases:» – кількість комбінацій спостережень залежної і незалежних змінних; у полі «adjusted  $R^2$ :» – уточнене значення квадрату коефіцієнту мно-

жинної кореляції; у полі « $p =$ » – розрахункове значення рівня значущості регресійної моделі; у єдиному полі «Standard error of estimate:» – числове значення стандартної похибки розрахункового значення залежної змінної; у полі «Intercept:» – чисельне значення коефіцієнту  $b_0$  регресійної моделі; у полі «Std. Error:» – стандартна похибка коефіцієнту  $a_0$ ; у полі « $t( )$ » – кількість ступенів вільності критерію Стюдента для розрахунку рівня значущості коефіцієнту  $a_0$ ; у полі  $x$  « $=$ » – числовий критерій Стюдента; у полі « $p <$ » – розрахункове значення рівня значущості коефіцієнту  $a_0$ .

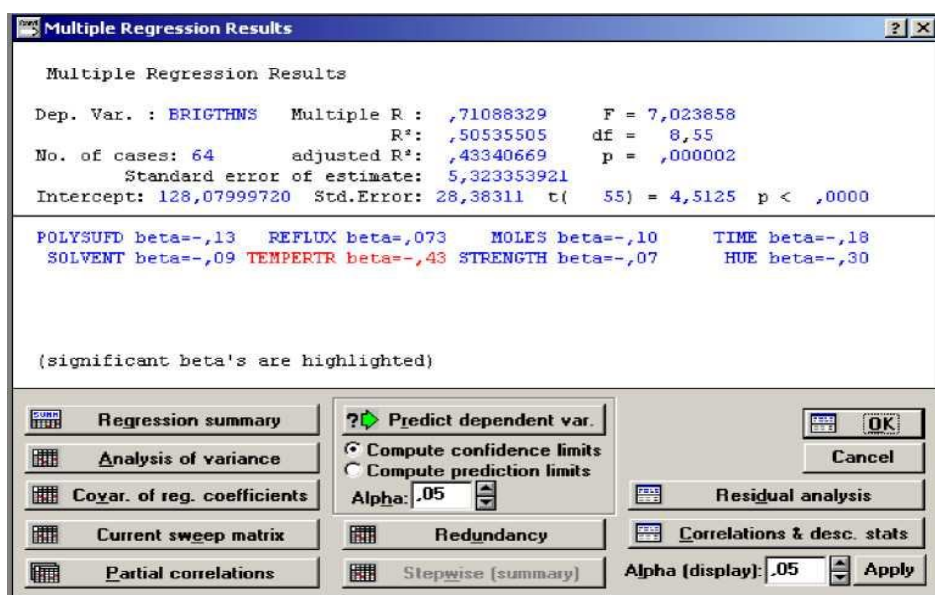


Рисунок 3.4 – Результати множинної регресії в Statistica

У частині під ризикою в порядкувому номері за списком змінних робочого листа групами виводяться дані кожної незалежної змінної: її ім'я, напис «beta=» та чисельне значення коефіцієнта  $a_i$  регресійної моделі за цієї змінної. У самому низу текстового поля є підказка «(significant beta's are highlighted)» – значні зміни регресійної моделі, які виділені кольором, колір значущих змінних відрізняється від кольору незначущих, у яких колір є ідентичним з кольором чисельних полів у текстовому полі над ризикою.

Чисельні значення коефіцієнтів розраховані для регресійної моделі виду:

$$\Psi = a_0 + a_1 \cdot Y_1 + a_2 + \dots + a_n \cdot Y_n, \quad (3.5)$$

де  $\Psi$  – прогнозне значення функції відгуку;

$a_i$  – коефіцієнт регресійної моделі за фактора  $Y_i$ .

Якщо рівень коефіцієнта  $a_0$  складає більш рівня, який задається, то він має бути видалений із регресійної моделі разом із усіма незначущими змінними. Тоді необхідно відмінити подальші розрахунки, натиснувши кнопку «Cancel», ці дії призведуть до повернення форми множинної регресії (рис. 3.2).

Видалення з регресійної моделі коефіцієнта  $a_0$  здійснюється завдяки формі множинної регресії. Для цього необхідно у цій формі відкрити список «Intercept» («Перетинання»), (рис. 3.5) і замість режиму «Include in model» («Включити в модель») обрати режим «Set to zero» («Установити рівним нулю»).

Видалення з регресійної моделі незначних змінних здійснюється за допомогою викликання образу вибору змінних (рис. 3.3), де у списку незалежних змінних потрібно із незначущих змінних зняти виділення.

Під час видалення з регресійної моделі незначущих змінних та коефіцієнтів кращим вважається покроковий алгоритм моделі, де за один крок виключається одна змінна, але можна видаляти одразу всі незначні змінні і коефіцієнти. Щоб визначити найкращий варіант, потрібно знайти змінну, яка найменш значна, а саме, на попередньому етапі розрахунків, одразу після виводу форми результатів множинної регресії (рис. 3.4) натиснути кнопку «Regression summary» («Підсумки регресії»). Далі на екрані з'явиться форма підсумків регресії (рис 3.6).

У цій формі у місці матриці в крайньому лівому стовпці перелічені імена змінних, а в останньому справа стовпцю із заголовком «p-level» («p-рівень», тобто рівень значущості) визначені значення рівнів значущості відповідних коефіцієнтів регресійної моделі.



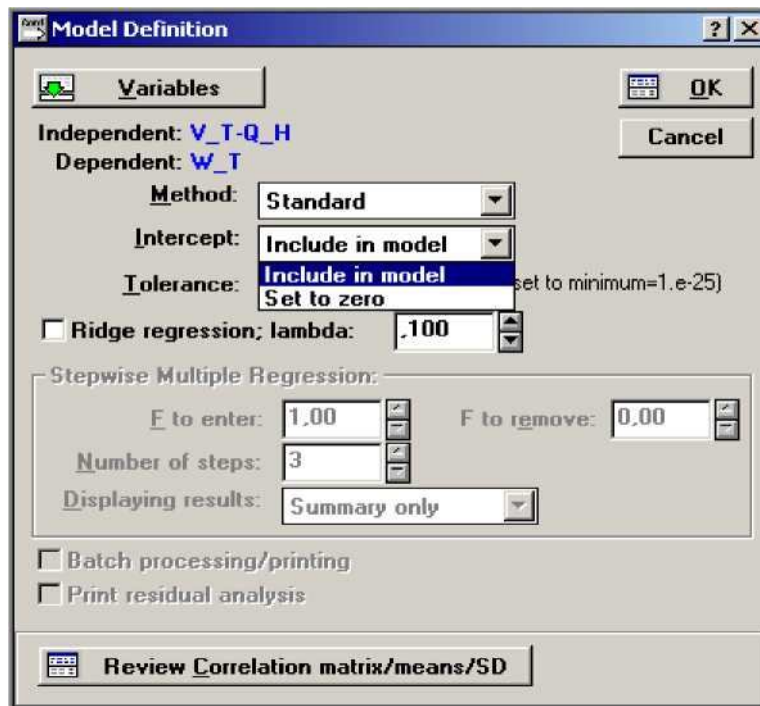


Рисунок 3.5 – Множинна регресія програми Statistica-5.5

Regression Summary for Dependent Variable: W_T						
MULTIPLE R= ,99594851 RI= ,99191343 Adjusted RI= ,99147631 REGRESS. F(2,37)=2269,2 p<,00000 Std.Error of estimate: ,00772						
N=40	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(37)	p-level
Intercept			2,037153	,028987	70,2771	,000000
V_T	1,51295	,022458	,031931	,000474	67,3683	,000000
Q_H	-1,13881	,022458	-,370688	,007310	-50,7087	,000000

Рисунок 3.6 – Підсумки множинної регресії в Statistica-5.5

Далі необхідно визначити рядок з найбільшим рівнем значимості. Відповідна змінна, насамперед, – має бути виключена з регресійної моделі.

Після того як список незалежних змінних відредагований, натискаємо кнопку «OK» – розрахунки коефіцієнтів регресійної моделі повторюються.

У випадку, коли у сформованій моделі залишиться одна змінна або коефіцієнт  $a_0$ , можна провести перевірку адекватності регресійної моделі. У разі

використання Statistica-5.5 це робиться простим порівнянням розрахункового рівня значущості ( $p_{розр}$ ), які наведені у текстовій області форми результатів множинної регресії (рис. 3.4) у полі « $p =$ » із заданим ( $\alpha$ ), який розраховується за (3.2), коли виконується умова:

$$p_{розр} \leq \alpha, \quad (3.6)$$

Тоді модель вважається адекватною та приймається для опису впливу факторів для функції відгуку, а результати обчислень заносяться до звіту.

У випадку не дотримання умов (3.5), поточна модель не враховується та перевіряється модель іншого виду.

Якщо модель приймається регресійною, то для неї потрібно провести аналіз залишків узгодження прогнозних і спостережних значень функції відгуку. Для цього на формі результатів множинної регресії необхідно натиснути кнопку «ОК» або кнопку «Residual analysis» («Аналіз залишків»). Ці дії спричинять появу на екрані форми аналізу залишків (рис. 3.7).

Для перевірки розподілу залишків (різниця між прогнозними і спостережними значеннями) функції відгуку за нормальним законом потрібно натиснути кнопку «Graph of residuals (L)». Далі на екран буде виведений запит способу представлення залишку (рис. 3.8).

У формі запиту способу представлення залишків необхідно увімкнути індикатор «Raw residuals» («Необроблені залишки») (рис. 3.8) та натиснути кнопку «ОК». Далі на екрані з'явиться гістограма розподілу з середнім значенням, який дорівнює нулю, середньоквадратичним відхиленням, що дорівнює стандартній похибці оцінки розрахункового значення залежної змінної.

Далі гістограму та графік потрібно порівняти та надати висновок щодо схожості емпіричної щільності та теоретичної імовірності розподілу залишків. Дані відображаються у висновках.



функції відгуку. Після цього на екрані буде наведено згаданий графік, який також включається до висновків по роботі.

Аналізуючи цей графік, визначаються області з найбільшими розбіжностями між прогнозними і спостережними значеннями функції відгуку, які будуть допомагати скорегувати вигляд апроксимувальної моделі функції відгуку.

До таблиці заносять результати розрахунків коефіцієнтів регресійних моделей функцій відгуку.

Необхідно побудувати характеристичний графік змінних функції для подальшого аналізу ступеня впливу факторів на поведінку функцій відгуку. Потрібно провести подальший аналіз ступеню впливу факторів на поведінку функцій відгуку. Графіки залежності функції відгуку необхідно будувати від кожного фактора за декількох комбінацій решти факторів (комбінації мають бути переважно з мінімальних та максимальних рівнів варіювання факторів).

Вигляд регресійної моделі, для якої були визначені числові значення коефіцієнтів, може відрізнятись від обраної. Тоді перед початком аналізу буде потрібне зворотне перетворення змінних (якщо в регресійну модель включені додаткові змінні, які перетворюються з вихідних змінних, наприклад за формулою (3.1), тоді регресійна модель (3.4) має бути перетворена за формулою):

$$X' = e^x. \quad (3.7)$$

Студенту необхідно визначити вид кривої функції, координати точок перегину функції, асимптоти функції – оскільки це елементи математичного аналізу, що повинні обов'язково входити до аналізу впливу факторів на поведінку функції відгуку. Необхідно зазначити економіко-фізичний характер поведінки функції відгуку під впливом факторів, шляхи досягнення оптимальних параметрів функціонування транспортної системи.

До висновку потрібно додати стисло викладені основні закономірності зміни функцій відгуку під впливом факторів і параметрів транспортних систем,

виділити особливі точки графіків функцій відгуку, визначити основні фактори, які впливають на показники роботи складових транспортних систем, надати рекомендації щодо максимального підвищення ефективності роботи транспортних систем у конкретних умовах.

### **Запитання до перевірки знань**

1. Особливості регресійного аналізу із використанням інструментів MS Excel?
2. Основні відмінності Statistica-5.5 від MS Excel.
3. Як оцінити значущість коефіцієнтів регресійних моделей на підставі інформації, яка міститься в звіті MS Excel?
4. Назвіть підходи до формування нелінійних гіпотез про вид регресійних моделей?
5. Як вид гіпотези впливає на розроблений план експерименту?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
2. Галушко В. Г. Вероятностно-статистические методы на транспорте / В. Г. Галушко. – Киев : Вища школа, 1976. – 232 с.
3. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. – 576 с.
4. Сильвестров Д. С. Пакеты прикладных программ статистического анализа / Д. С. Сильвестров, Н. А. Семенов, В. П. Маришук. – Київ : Техніка, 1990. – 176 с.
5. Грушко И. М. Основы научных исследований / И. М. Грушко, В. М. Сиденко. – Харьков : Вища школа, 1983. – 224 с.
6. Ситник В. Ф. Імітаційне моделювання: навч. посібник / В. Ф. Ситник, Н. С. Орленко. – Київ : КНЕУ, 1998. – 232 с.
7. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 418 с.
8. Завадский Ю. В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю. В. Завадский. – М. : Транспорт, 1977. – 72 с.
9. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.
10. Хастингс Н. Справочник по статистическим распределениям : пер. с англ. / Н. Хастингс, Дж. Пикок. – М. : Статистика, 1980. – 95 с.
11. Кельтон В. Имитационное моделирование : пер. с англ. / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб : Питер, 2004. – 847 с.
12. Говорухин В. Компьютер в математическом исследовании. Учебный курс / В. Говорухин, В. Цибулин. – СПб. : Питер, 2001. – 624 с.
13. Минько А. А. Статистический анализ в MS Excel / А. А. Минько. –

М. : Вильямс, 2004. – 448 с.

14. Уокенбах Дж. Профессиональное программирование на VBA в Excel 2002 / Дж. Уокенбах. – М. : Вильямс, 2004. – 784 с.

15. Наумов В. С. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Транспортно-експедиционное обслуживание в логистических системах» для студентів денної форми навчання спеціальності 8.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті (за видами транспорту)» / В. С Наумов. – Харків : ХНАДУ, 2012. – 29 с.

16. Закономерности формирования спроса на услуги городского пассажирского транспорта : метод. вказівки до практичних робіт : для студентів денної навчання напряму підготовки 6.070101 – «Транспортні технології». / О. В. Россолов, В. Ю. Король, С. В. Свічинський, О. С. Колій. – Харків : ХНАДУ, 2013. – 35 с.

## ДОДАТОК А

### СТАНДАРТНІ ПЛАНИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Таблиця А.1 – Рівні варіювання факторів трифакторного експерименту

Перша напівреплика				Друга напівреплика			
X0	X1	X2	X3	X0	X1	X2	X3
+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1
+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1
+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1

Таблиця А.2 – Рівні варіювання факторів п'ятифакторного експерименту

X0	X1	X2	X3	X4	X5
+1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	+1	+1	-1	-1	-1
+1	+1	-1	+1	+1	+1
+1	-1	+1	+1	+1	+1
+1	+1	-1	+1	-1	-1
+1	-1	+1	+1	-1	-1
+1	-1	-1	-1	+1	+1
+1	+1	+1	-1	+1	+1
+1	+1	-1	-1	-1	+1
+1	-1	+1	-1	-1	+1
+1	-1	-1	+1	+1	-1
+1	+1	+1	+1	+1	-1
+1	+1	-1	-1	+1	-1
+1	-1	+1	-1	+1	-1
+1	-1	-1	+1	-1	+1
+1	+1	+1	+1	-1	+1



Таблиця А.3 – Перші стовпці плану Плакетта – Бермана (К – кількість факторів)\*

K=7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1									
K=11	+1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1					
K=15	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	

Примітка. Інформаційна матриця плану експерименту заповнюється у такий спосіб. Стовпець X0 весь заповнюється значеннями «+1», останній рядок матриці (окрім клітинки на перетинання зі стовпцем X0) заповнюється значеннями «-1». Стовпець X1 заповнюється значеннями відповідного рядка таблиці Б.3 без будь-яких змін. Решта стовпців заповнюється даними з попереднього стовпця зрушеними вниз на один рядок і пересунутим у верхній рядок значенням останнього рядка попереднього стовпця.

Таблиця А.4 – Табличні значення критерію Кохрена

$f_2$	$f_1$											
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36	144	$\infty$
2	0,998 5	0,975 0	0,939 2	0,905 7	0,877 2	0,853 4	0,815 9	0,788 0	0,734 1	0,660 2	0,581 3	0,500 0
3	0,966 9	0,870 9	0,797 7	0,745 7	0,707 1	0,677 1	0,633 3	0,602 5	0,546 6	0,474 8	0,403 1	0,333 3
4	0,906 5	0,767 9	0,684 1	0,628 7	0,589 5	0,559 8	0,517 5	0,488 4	0,436 6	0,372 0	0,309 3	0,250 0
5	0,841 2	0,683 8	0,598 1	0,544 1	0,506 5	0,478 3	0,438 7	0,411 8	0,364 5	0,306 6	0,251 3	0,200 0
6	0,780 8	0,616 1	0,532 1	0,480 3	0,444 7	0,418 4	0,381 7	0,356 8	0,313 5	0,261 2	0,211 9	0,166 7
7	0,727 1	0,561 2	0,480 0	0,430 7	0,397 4	0,372 6	0,338 4	0,315 4	0,275 6	0,227 8	0,183 3	0,142 9
8	0,679 8	0,515 7	0,437 7	0,391 0	0,359 5	0,336 2	0,304 3	0,282 9	0,246 1	0,202 2	0,161 6	0,125 0
9	0,638 5	0,477 5	0,402 7	0,358 4	0,328 6	0,306 7	0,276 8	0,256 8	0,222 6	0,182 0	0,144 6	0,111 1
10	0,602 0	0,445 0	0,373 3	0,331 1	0,302 9	0,282 3	0,254 1	0,235 3	0,203 2	0,165 5	0,130 8	0,100 0
12	0,541 0	0,392 4	0,326 4	0,288 0	0,262 4	0,243 9	0,218 7	0,202 0	0,173 7	0,140 3	0,110 0	0,083 3
15	0,470 9	0,334 6	0,275 8	0,241 9	0,219 5	0,203 4	0,181 5	0,167 1	0,142 9	0,114 4	0,088 9	0,066 7
20	0,389 4	0,270 5	0,220 5	0,192	0,173 5	0,160 2	0,142 2	0,130 3	0,110 8	0,087 9	0,067 5	0,050 0
24	0,343 4	0,235 4	0,190 7	0,165 6	0,149 3	0,137 4	0,121 6	0,111 3	0,094 2	0,074 3	0,056 7	0,041 7
30	0,292 9	0,198 0	0,159 3	0,137 7	0,123 7	0,113 7	0,100 2	0,092 1	0,077 1	0,060 4	0,045 7	0,033 3
40	0,237 0	0,157 6	0,125 9	0,108 2	0,096 8	0,088 7	0,078 0	0,071 3	0,059 5	0,046 2	0,034 7	0,025 0
60	0,173 7	0,113 1	0,089 5	0,076 5	0,068 2	0,062 3	0,055 2	0,049 7	0,041 1	0,031 6	0,023 4	0,016 7
120	0,098 8	0,063 2	0,049 5	0,041 9	0,037 1	0,033 7	0,029 2	0,026 6	0,021 8	0,016 5	0,012 0	0,008 3
$\infty$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання розрахунково-графічної  
(контрольної) роботи

## **«МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»**

*(для магістрів заочної форми навчання  
спеціальності 275 – Транспортні технології)*

Укладачі: **ДАВІДІЧ** Юрій Олександрович,  
**ФАЛЕЦЬКА** Галина Іванівна

Відповідальний за випуск *О. О. Лобашов*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *Г. І. Фалецька*

План 2017, поз. 194М

Підп. до друку 07.11.2017. Формат 60 × 84 / 16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,2.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.